

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 6/16

C03C 13/04 C03B 37/012

C03B 37/025

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01137107.2

[43] 公开日 2002 年 4 月 10 日

[11] 公开号 CN 1343893A

[22] 申请日 2001.8.28 [21] 申请号 01137107.2

[30] 优先权

[32] 2000.8.28 [33] JP [31] 257850/2000

[32] 2000.8.28 [33] JP [31] 257860/2000

[71] 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪

[72] 发明人 永山胜也 大贺裕一 齐藤达彦

石川真二 土屋一郎 内山武典

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事

务所

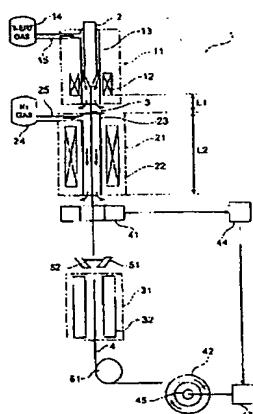
代理人 杜日新

权利要求书 3 页 说明书 21 页 附图页数 6 页

[54] 发明名称 光纤维及其制造方法

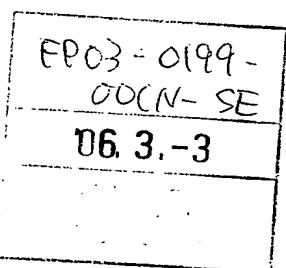
[57] 摘要

制作心线平均粘性 η_o 和整体平均粘性 η_i 的粘性比 $R_{\eta} = \eta_o / \eta_i$ 是 2.5 以下的光纤维母材 2, 用拔线炉 11 拔丝制成光纤维 3 后, 在其后级设置的加热炉 21 中, 按规定范围的温度加热光纤维 3, 使光纤维 3 慢慢冷却。这时, 通过用加热炉 21 的慢冷, 使光纤维内的假想温度 T_f 下降, 降低瑞利散射损失。同时由粘性比的条件 $R_{\eta} \leq 2.5$ 来抑制对心线的应力集中, 降低构造不规则损失等的发生。由此, 能得到确实降低作为整体的瑞利散射损失等引起的传输损失的光纤维及其制造方法。



ISSN 1008-4274

知识产权出版社出版



权 利 要 求 书

1. 一种光纤维，具有心线区域和在上述心线区域的外周设置的包层区域，其特征是，

5 上述心线区域内的剖面的心线平均粘性 η_0 和组合上述心线区域和上述包层区域的整体剖面的整体平均粘性 η_1 的粘性比 $R_n = \eta_0 / \eta_1$ 为 2.5 以下，同时瑞利损失是规定基准值的 95% 以下。

2. 如权利要求 1 所述的光纤维，其特征是，

10 在沿光轴方向的残余应力的张力成分为 σ_z 、拔丝时张力为 f 、上述金属包层区域的外周半径为 r_1 时，上述粘性比 R_n 由下述关系式求出，

$$R_n = \sigma_z / (f / \pi r_1^2)$$

3. 如权利要求 1 所述的光纤维，其特征是，

15 作为上述瑞利散射损失的指标用瑞利散射系数 A ($\text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$)，在将向用 % 表示对纯 SiO_2 的折射系数差的上述心线区域的 Ge 的添加量设为 $[Ge]$ 时设 $A_0 = 0.85 + 0.29[Ge]$ 为基准值，上述瑞利散射系数 A 是上述基准值 A_0 的 95% 以下。

4. 如权利要求 1 的所述的光纤维，其特征是，

20 在将向用 % 表示对纯 SiO_2 的折射系数差的上述心线区域的 Ge 的添加量设为 $[Ge]$ 时设 $\alpha_0 = 0.86 + 0.29[Ge]$ 为基准值，波长 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ (dB/km) 是上述基准值 α_0 的 95% 以下。

5. 如权利要求 1 所述的光纤维，其特征是光轴方向残余应力的张力成分是 20Mpa 以下，或在上述张力成分组合热膨胀成分的上述残余应力是 30Mpa 以下。

6. 如权利要求 1 所述的光纤维，其特征是，

25 具有由纯 SiO_2 或添加氯的 SiO_2 组成的上述心线区域、和在上述心线区域的外周设置的上述包层区域，

上述包层区域在将纯 SiO_2 的折射率为基准用 % 表示各部的折射系数差而定义时，按其平均折射系数差 Δn_c 满足条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 添加氯。

同时，瑞利散射系数 A 是 $0.81 \text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$ 以下，或波长 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 是 0.82 dB/km 以下。

7. 如权利要求 6 所述的光纤维，其特征是，

上述包层区域由在上述心线区域的外周设置的内包层和在上述内包层的外周设置的外包层的 2 层包层构成。

上述外包层的平均折射系数差 Δn_2 比上述内包层的平均折射系数差 Δn_1 大，满足条件 $\Delta n_2 \geq -0.26\%$ 。

8. 如权利要求 7 所述的光纤维，其特征是，

上述外包层由纯 SiO_2 构成，

上述外包层的内周半径 r_1 和上述外包层的外周半径 r_2 满足条件 $r_2 - r_1 \leq r_2 \times 0.3$ 。

10 9. 如权利要求 6 所述的光纤维，其特征是，

上述心线区域添加氯，使其平均折射系数差 Δn_0 满足条件 $0.01\% \leq \Delta n_0 \leq 0.12\%$ 。

10. 一种光纤维制造方法，其特征是，

制作备有心线区域和在上述心线区域外周设置的包层区域并使上述心线区域内剖面的心线平均粘性 η_0 和组合上述心线区域和上述包层区域的整体剖面的平均粘性 η_1 的粘性比 $R_0 = \eta_0 / \eta_1$ 为 2.5 以下的光纤维母材，

在加热拔丝上述光纤维母材时，用设置在上述拔丝炉后级的加热炉，按规定温度范围内的温度加热用拔丝炉拔丝过的光纤维。

11. 如权利要求 10 所述的光纤维的制造方法，其特征是，

制作的上述光纤维母材备有由纯 SiO_2 或添加氯的 SiO_2 构成的上述心线区域和在上述心线区域的外周设置的上述包层区域，上述包层区域在将纯 SiO_2 的折射率为基准用 % 表示各部的折射系数差而定义时，添加氯，使其平均折射系数差 Δn_c 满足条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ ，

同时在加热拔丝上述光纤维母材时，用设置在上述拔丝炉后级的加热炉，按规定温度范围内的温度加热用拔丝炉拔丝过的光纤维，得到瑞利散射系数 A 为 $0.81 dB/km \cdot \mu m^4$ 以下，或波长 $1.00 \mu m$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 是 $0.82 dB/km$ 以下的光纤维。

12. 如权利要求 10 或 11 所述的光纤维制造方法，其特征是，上述加热炉按上述光纤维的温度是 $1100 \sim 1700^\circ C$ 范围内的温度加热上述拔丝过的光纤维。

13. 如权利要求 10 所述的光纤维制造方法，其特征是，

制作的上述光纤维母材备有由纯 SiO_2 或添加氯的 SiO_2 构成的上述心线区域和在上述心线区域的外周设置的上述包层区域，上述包层区域在将纯 SiO_2 的折射率作为基准用%表示各部的折射系数差而定义时，添加氯使其平均折射系数差 Δn_c 满足条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ ，

同时加热拔丝上述光纤维母材时，以 $0.05 \sim 0.20\text{N}$ 范围内的张力进行上述光纤维母材的拔丝，得到瑞利散射系数 A 是 $0.81\text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$ 以下或波长 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 是 0.82 dB/km 以下的光纤维。

说 明 书

光纤维及其制造方法

5 技术领域

本发明涉及传输光的光纤维及其制造方法。

技术背景

在用光纤维的光传输中，因光纤维内的瑞利散射产生的传输损失（瑞利散射损失）变为问题。对此，提出了能降低瑞利散射损失的光纤维或其制造方法
10 的方案。

例如，在文献「坂口、电子情报通信学会论文 2000 / 1 Vol. J83-C No. 1, pp. 30-36」中，记载了一种通过拔丝后的光纤维慢慢冷却使光纤维的瑞利散射降低的方法。即，玻璃内的瑞利散射强度不一定由材料决定，而取决于表示玻璃内原子排列状态混乱性的假想的温度的假想温度 T_f (Fictive Temperature)。具体地说，玻璃内的假想温度 T_f 高（混乱性大），瑞利散射强度增大。

与此相对应，在加热拔丝光纤维母材时，在拔丝炉的后级设置加热炉，拔丝后的光纤维通过加热炉时能加热到规定的温度范围。因此，用加热炉加热，能防止拔丝后的光纤维的急激冷却，使光纤维慢慢冷却。这时，由于原子再排列引起玻璃构造缓和，使光纤维内的假想温度 T_f 下降，能抑制光纤维内的瑞利散射强度。
20

并且，文献「K. Tajima, NTT REVIEW Vol. 10 No. 6, pp. 109-113 (1998)」中，记载了用低温拔丝同样能抑制瑞利散射强度。

然而，在有用上述加热炉的慢慢冷却过程的制造方法等的已往提出的得到瑞利散射损失降低效果的制造方法中，不能说已充分实现光纤维传输损失的降低。
25 尤其是，即使是用相同制造方法制作的光纤维，在取得降低传输损失效果时，也有传输损失几乎没有减少或相反增大的场合等，有确实没有得到降低传输损失效果的问题。

本申请发明者对上述传输损失降低的不可靠性的原因等进行反复精心研究，从其研究结果可以知道，即使在用能降低瑞利散射损失的相同制造方法
30

时，通过适用该制造方法的光纤维或光纤维母材的构成，使得到的传输损失降低效果大不相同。

发明内容

5 本发明是鉴于以上问题而研究的，其目的在于提供一种能确实降低因瑞利散射损失等引起的传输损失的光纤维和其制造方法。

为了达到这样的目的，本发明的第1光纤维备有心线区域和在该心线区域外周设置的包层区域，其特征在于，在心线区域内剖面的心线平均粘性 η_c 和使心线区域及包层区域组合的整体剖面的整体平均粘性 η_e 的粘性比 $R_n = \eta_c / \eta_e$ 是2.5以下，同时瑞利散射损失是规定基准值的95%以下。

10 在上述光纤维中，通过使用用慢慢冷却的制造方法等的有降低瑞利散射效果的制造方法、或选择使瑞利散射损失降低的光纤维材料，瑞利散射损失比表示通常的光纤维的瑞利散射损失的基准值降低5%以上，成为95%以下的值。按照该心线和整体的粘性比 R_n 为2.5以下($R_n \leq 2.5$)构成光纤维的心线区域和包层区域。

15 对于粘性比 R_n ，通过付与这样的条件，能同时降低瑞利散射损失、和构造不规则等的瑞利散射损失以外的传输损失成分。因而，通过制作这样结构的光纤维，实现能确实降低作为整体的传输损失的光纤维。

20 上述光纤维可以用各种各样制造方法制作。作为具体制造方法的一种，本发明的第1光纤维的制造方法，其特征在于，制作备有心线区域和在该心线区域的外周设置的包层区域。心线区域内剖面的心线平均粘性 η_c 和将心线区域及包层区域组合的全体剖面的整体平均粘性 η_e 的粘性比 $R_n = \eta_c / \eta_e$ 为2.5以下的光纤维母材，加热拔丝光纤维母材时，用在拔丝炉后级设置的加热炉按照规定的温度范围内的温度加热经拔丝炉拔丝过的光纤维。

25 这样，加热拔丝该光纤维母材时，通过用在拔丝炉的后级设置的加热炉使光纤维慢慢冷却，如上述那样，使光纤维内的假想温度 T_f 降低，能降低瑞利散射损失。并且，通过使用满足粘性比 R_n 的上述条件的光纤维母材，在拔丝时或慢慢冷却时发生在光纤维的构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失也同时降低，能作为确实取得降低作为整体的传输损失的效果的制造方法。

30 在上述光纤维的制造方法中，关于在拔丝炉的后级设置的加热炉，在有用树脂被覆被拔丝的光纤维的树脂被覆部时，最好设置在拔丝炉和树脂被覆部之

间。

除了通过用加热炉慢慢冷却的制造方法以外，还有降低瑞利散射损失效果的其他制造方法，通过形成粘性比 $R_v \leq 2.5$ 光纤维或光纤维母材，同样能得到降低整体的传输损失的效果。

5 本发明的第2光纤维备有由 SiO_2 或添加氯的 SiO_2 构成的心线区域、和在该心线区域外设置的包层区域，其特征在于，包层区域在以纯 SiO_2 的折射率为基准用%表示各部的折射系数差而定义时，在其平均折射系数差 Δn_c 满足 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的条件，那样添加氯的同时，瑞利散射系数 A 是 $81 \text{dB/km} \cdot \mu \text{m}^4$ 以下，或波长 $1.00 \mu \text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 是 0.82dB/km 以下。

10 在具有纯 SiO_2 (纯石英) 的心线或以其为基准的心线的光纤维(光纤维母材)，心线区域的粘性比添加F等的包层区域大。因此，由于光纤维母材拔丝时的张力，使发生在光纤维内的应力集中到心线。这时，所得到的光纤维的传输损失的张力依存性变大，变成传输损失增大的原因。

15 在上述光纤维中，将心线区域设为纯 SiO_2 ，同时用满足 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的范围的添加量在包层区域的全体或一部添加F(氯)而构成包层区域。由于适用这种光纤维的构成，对于瑞利散射系数 A 或传输损失 $\alpha_{1.00}$ 和传输损失 $\alpha_{1.55}$ ，实现比通常光纤维的基准降低的上述数值范围。

20 根据这种心线区域和包层区域的构成，通过对包层区域给与F添加量的上限值，在包层区域应力被分散，所以能抑制向有纯 SiO_2 心线的光纤维的心线的应力集中，降低得到的光纤维的传输损失的张力依存性。因此，也能同时降低瑞利散射损失和构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失成分。通过形成这种构成的光纤维，实现能确实降低作为整体的传输损失的光纤维。

25 关于瑞利散射系数 A 和传输损失 $\alpha_{1.00}$ 的基准值，用通常的构成和通常的制造方法得到的纯 SiO_2 心线(或以纯 SiO_2 为基准添加Cl的 SiO_2 心线)的光纤维分别是 $0.85 \text{dB/km} \cdot \mu \text{m}^4$ 和 0.86dB/km 的值。与此相反，若采用有本发明构成的光纤维，则瑞利散射系数 A 和传输损失 $\alpha_{1.00}$ 分别是降低约5%以上的上述数值范围。

30 本发明的第2光纤维制造方法，其特征在于，制作备有由纯 SiO_2 或添加氯的 SiO_2 组成的心线区域、和在心线区域的外周设置的包层区域，包层区域在将纯 SiO_2 的折射率作为基准用%表示各部的折射系数差而定义时，按其平均折射

率差 Δn_c 满足 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的条件添加氯的光纤维母材，同时在加热拔丝光纤维母材时，用在拔丝炉的后级设置的加热炉按规定的温度范围，加热拔丝过的光纤维，得到光纤维的瑞利散射系数 A 在 $0.81 \text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$ 以下，或波长 $100 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 在 0.82dB/km 以下的光纤维。

这样，在加热拔丝该光纤维母材时，通过用在拔丝炉的后级设置的加热炉进行光纤维的慢慢冷却，能如上述那样使光纤维内的假想温度 T_f 降低，减少瑞利散射损失。通过使用心线区域和包层区域有上述构成的光纤维母材，能同时降低拔丝时或慢慢冷却时发生在光纤维的构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失成分，能成为确实取得降低作为整体的传输损失效果的制造方法。

在上述光纤维的制造方法中，关于在拔丝炉的后级设置的加热炉，在使用用树脂包覆拔丝过的光纤维的树脂包覆部时，也可设置在拔丝炉和树脂包覆部之间。

除用加热炉慢慢冷却的制造方法以外，在有降低散射损失效果的其他制造方法中，通过形成上述构成的光纤维或光纤维母材，也能确实得到降低作为整体的传输损失的效果。

或者，本发明的光纤维制造方法，其特征在于，制作备有由纯 SiO_2 或添加氯的 SiO_2 组成的心线区域、和在心线区域的外周设置的包层区域，包层区域在以纯 SiO_2 的折射率为基准用%表示各部的折射系数而定义时，按其平均折射系数差 Δn_c 满足 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 条件添加氯的光纤维母材的同时，在加热拔丝光纤维母材时，以 $0.05 \sim 0.20 \text{N}$ 的范围内的张力进行光纤维母材的拔丝，得到瑞利散射系数 A 在 $0.81 \text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$ 以下，或者波长 $100 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 在 0.82dB/km 以下的光纤维。

在形成抑制向心线的应力集中的光纤维母材（光纤维）的构成的同时，使拔丝时的张力保持在 $0.05 \sim 0.20 \text{N}$ 的合适张力值范围内进行张力控制，能确定得到传输损失降低的光纤维。

附图说明

图 1 是概略地表示光纤维的制造方法和光纤维的制造所用的拔丝装置的一实施形态的构造图。

图 2 是用于说明第 1 光纤维的粘性比 R_v 的图。

图3是表示第1光纤维的第1实施例的折射率曲线的图。

图4是表示第1光纤维的第2实施例的折射率曲线的图。

图5是表示光纤维比较例的折射率曲线的图。

图6是表示光纤维的张力和残余应力相关的曲线图。

图7是表示第2光纤维的第1实施形态的折射率曲线的图。

图8是表示第2光纤维的第2实施形态的折射率曲线的图。

图9是表示第2光纤维的第3实施形态的折射率曲线的图。

实施方式

以下，随着附图详细说明本发明的光纤维和其制造方法的最佳实施形态。

在附图的说明中，同一元件给与同一符号，省略重复的说明。附图的尺寸比率未必与说明的一致。

首先，说明本发明的第1光纤维及光纤维的制造方法。

图1所示的拔丝装置1是用于拔丝石英玻璃系光纤维的拔丝装置，具有拔丝炉11、慢慢冷却用的加热炉21和树脂硬化部31。这些拔丝炉11、加热炉21和树脂硬化部31在拔丝光纤维母材2的方向（图1的上下方向），以拔丝炉11、加热炉21、树脂硬化部31的顺序设置。

首先，将母材供给装置（未图示）保持的光纤维母材2供给拔丝炉11，由拔丝炉11内的加热器12加热并软化光纤维母材2的下端，拔丝光纤维3。拔丝炉11的炉心管13与来自惰性气体供给部14的惰性气体供给通路15连接，拔丝炉11的炉心管13内构成惰性气体气流。

这里，关于从母材供给装置供给的光纤维母材2，关于由心线区域和在心线区域的外周设置的包层区域组成的光纤维母材2内的各部的粘性，按满足规定的条件制作并使用光纤维母材2。即，关于在心线区域内剖面的心线平均粘性 η_0 和在组合心线区域和包层区域的全体剖面的整体平均粘性 η_1 的粘性比 $R_0 = \eta_0 / \eta_1$ ，按粘性比 R_0 是2.5以下（ $R_0 \leq 2.5$ ）制作光纤维母材2。

加热拔丝过的光纤维3在炉心管13内，由惰性气体急激冷却到1700℃左右。然后，光纤维3从炉心管13的下部被取出到拔丝炉11外，在拔丝炉11和加热炉21之间被空气冷却。作为惰性气体可用例如N₂气体，该N₂气体的热传导系数 λ （T=300K）是26mw/(m·k)。空气的热传导系数 λ （T=300K）是26mw/(m·k)。

接着, 将被空气冷却的光纤维3送到在拔丝炉11的后级即拔丝炉11和树脂硬化部31之间设置的慢慢冷却用的加热炉21。按规定温度范围内的温度加热光纤维3的规定空间, 以规定的冷却速度慢慢冷却。该加热炉21有在其中光纤维3通过的炉心管23。该炉心管23最好设定成在光纤维母材2的拔线方向(图1中的上下方向)的全长L2(m)满足 $L2 \geq V/8$ 。这儿, V是拔丝速度(m/s)。

加热炉21的炉心管23的位置被设定在进入炉心管23之前的光纤维3的温度(进线温度)是1400~1800℃范围的位置, 对拔丝炉11最好设置成满足 $L1 \leq 0.2 \times V$ 。这儿, L1是拔丝炉11的加热器12的下端到炉心管23的上端的距离, V是拔丝速度(m/s)。设定加热炉21的加热器22的温度, 以便使炉中心(光纤维3通过的部分)的温度为11000~1600℃, 较好是1200~1600℃范围内的温度, 特别好是1250~1500℃, 最好是1300~1500℃范围内的温度。

通过设定上述加热炉21(炉心管23)的位置和长度, 在慢慢冷却用的加热炉21中加热被加热拔丝过的光纤维3, 使其温度是1100~1700℃, 较好的是1200~1700℃范围内的温度。尤其是, 光纤维3的温度变成1100~1700的部分时, 光纤维3的温度差在50℃以上的区间, 例如光纤维3的温度变成1250~1500℃、最好变成1300~1500℃的部分(温度差变成200℃的区间)以1000℃/秒以下的冷却速度慢慢冷却。

通过将炉中心的温度设定在1100~1600℃、最好在1200~1600℃范围内的温度, 在被加热拔丝过的光纤维3, 温度变成1100~1700℃、最好1200~1700℃的部分时, 光纤维3的温度差变成50℃以上的区间以1000℃/秒以下的冷却速度慢慢冷却。

加热炉21的炉心管23与来自N₂气体供给部24的N₂气体供给通路25连接, 加热炉21的炉心管23内构成N₂气体气氛。也可用空气或A_r等的分子量比较大的气体等, 代替用N₂气体。但是, 在用碳精电极加热器时, 必须用惰性气体。

从加热炉21出来的光纤维3用作为外径测定装置的外径测定器41在线测定外径, 将该测定值反馈给旋转驱动转筒42的驱动电机43, 并进行控制, 使外径变为恒定。来自外径测定器41的输出信号被送到作为控制装置的控制单元44, 通过运算求出转筒42(驱动电机43)的旋转速度, 以便使光纤维3的

外径变为预先设定的规定值。

从控制单元 44 将表示通过运算求得的转筒 42 (驱动电机 43) 旋转速度的输出信号输出给驱动电机用的驱动器 (未图示)，该驱动电机用的驱动器根据从控制单元来的输出信号，控制驱动电机 43 的旋转速度。

5 然后，用涂覆模 51 在光纤维 3 上涂敷 UV 树脂 52。被涂敷的 UV 树脂 52 由树脂硬化部 31 的 UV 灯硬化，形成光纤维毛坯线 4。光纤维毛坯线 4 经过导辊 61，被转筒 42 卷取。将转筒 42 支撑在旋转驱动轴 45 上，该旋转驱动轴 45 的端部与驱动电机 43 连接。

这儿，在本实施形态中，用涂覆模 51 和树脂硬化部 31 构成由树脂包覆光纤维的树脂包覆部。作为该树脂包覆部不限于上述构成，也可以形成涂敷热硬化树脂后由加热炉硬化的构成。

10 拔丝炉 11 的炉心管 13 如上述那样连接来自惰性气体供给部 14 的惰性气体供给通路 15，拔丝炉 11 的炉心管 13 内构成惰性气体气氛，但作为惰性气体供给部 14 也可以设置 N_2 气体供给部，在炉心管 13 内供给 N_2 气体 1，从而构成 15 N_2 气体氛。

15 拔丝速度是低速、例如 100m/min 时，光纤维 3 在 He 气体气氛中，在拔丝炉 11 (炉心管 13) 内由于要冷却到 1000°C，这时，将炉心管 13 内形成 N_2 气体气氛，最好将拔丝炉 11 (炉心管 13) 的出口处的光纤维 3 的温度设为 1700°C。最好设置 He 气体供给部和 N_2 气体供给部，以便与拔线速度相对应地在炉 20 心管 13 内供给 He 气体和 N_2 气体。实际上，通过一旦冷却后再加热，即使作为 1100 ~ 1700°C，最好 1200 ~ 1700°C，构造缓和是可能的。但这时，为了再加热，加热器变长，产生损耗。

25 上述光纤维的制造方法，由于用加热炉 21 慢慢冷却引起光纤维内的假想温度 T 下降，所以是能降低光纤维的光传输损失主要原因的瑞利散射损失的制造方法。在本实施形态中，关于适用于该制造方法的光纤维母材 (或由该光纤维材得到的光纤维) 的构成，如上述那样设心线平均粘性 η_c 和整体平均粘性 η_o 的粘性比 $R_o = \eta_o / \eta_c$ 是 2.5 以下 ($R_o \leq 2.5$)。

30 对于满足这样的粘性比条件的构成的光纤维和光纤维母材，由于适用有图 1 所示的慢慢冷却过程的制造方法等的能降低瑞利散射损失的制造方法，所以能确实降低作为整体的瑞利损失等引起的传输损失。

即，对于在光纤维内传输的光的瑞利散射损失，能充分降低（降低5%以上）到表示通常光纤维的瑞利散射损失的规定基准值的95%以下，同时关于构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失成分，也能同时抑制其发生和增大，能得到作为整体的传输损失非常低的光纤维。

5 以下，具体说明心线平均粘性 η_0 、整体平均粘性 η_1 、粘性比 $R_n = \eta_0 / \eta_1$ ，和通过适用上述的粘性比的条件 $R_n \leq 2.5$ 而引起的降低传输损失的效果。

首先，对心线平均粘性 η_0 、整体平均粘性 η_1 和粘性比 R_n 的定义进行说明。这儿，如图2所示，研究由心线区域100和在其外周设置的包层区域101的2层构成的光纤维（或光纤维母材）。设心线区域100的外周半径为 r_0 ，设包层区域101的外周半径 r_1 ，同时将表示剖面各位置的粘性的粘性系数用 η 表示。

10 这时，关于心线区域100内的剖面，将粘性系数 η 平均的心线平均粘性 η_0 由下式求出。

$$\begin{aligned}\eta_0 &= \int_0 \eta dS / \int_0 dS \\ &= \int_0 \eta dS / \pi r_0^2\end{aligned}$$

15 这儿， $\int_0 \eta dS$ 表示对剖面内各位置的粘性系数 η 的在图2所示的心线区域100的剖面范围的积分。如式中所示， $\int_0 dS$ 相当于心线区域100的剖面面积 πr_0^2 。

同样，关于组合心线区域100和包层区域101的全体剖面，对粘性系数平均的整体平均粘 η_1 由下式求出。

$$\begin{aligned}\eta_1 &= \int_1 \eta dS / \int_1 dS \\ &= \int_1 \eta dS / \pi r_1^2\end{aligned}$$

20 这儿， $\int_1 \eta dS$ 表示对剖面内各位置的粘性系数 η 的在图2所示的心线区域100包层区域101的全体剖面范围的积分。如式中所示， $\int_1 dS$ 相当于组合心线区域100和包层区域101的剖面面积 πr_1^2 。

25 从以上那样求出的心线平均粘性 η_0 和整体平均粘 η_1 ，求出粘性比 R_n 作为 $R_n = \eta_0 / \eta_1$ 。

在包层区域由有不同折射率的多个包层构成时，将这些多个包层的全体作为包层区域，可以适用上述的公式（例如粘性系数 η 的积分式）。关于在光纤维内各位置的粘性系数 η ，最好用软化时的粘性系数，具体地说，能用1300°C ~ 1900°C范围内的温度，例如在1900°C的粘性系数。

30 下面，说明通过适用粘性比的条件 $R_n \leq 2.5$ 而引起的传输损失的降低效

果。

关于心线区域 100 及包层区域 101 的粘性，在有纯 SiO_2 (二氧化硅) 心线构成的光纤维等中，与包层区域 101 相比，心线区域 100 的粘性变大。这样，粘性大、粘性比 R_n 的值大时，在拔丝时或拔丝后施加在光纤维的张力或应力集中在心线区域 100。

即，光纤维内各位置的粘性系数 η 通过在 SiO_2 玻璃 (石英玻璃) 中添加 Ge、Cl 或 F 等的使折射率变化的添加物而变化，使其粘性变小。具体地说，粘性系数 η 按下式 $\log_{10} \eta = 5.6 + 1.58[F] - 0.57[Ge, Cl]$ 而变化 (参照文献「K. Shiraki et al., Electronics Letters, Vol. 29 No. 14, pp. 1263-1264 (1993)」)。

这儿，[F] 表示用对于纯 SiO_2 的折射系数差 (%) 的值表示的 F (氟) 的添加量，[Ge、Cl] 同样表示用对于纯 SiO_2 的折射系数差 (%) 的值表示的 Ge (锗) 或 Cl (氯) 的添加量。但，关于 Cl，对于其粘性系数 η 的影响假定与 Ge 相等。

根据在 SiO_2 玻璃中添加各自添加物时的折射率变化，以折射系数差表示各自的添加量的符号是 $[F] < 0$, $[Ge, Cl] > 0$ 。即，根据上述式，通过添加 Ge、Cl 和 F 等， SiO_2 玻璃的粘性系数 η 变小。因而，在向纯 SiO_2 心线或心线的添加物的添加量少的光纤维，包层区域 101 的粘性因 F 的添加而变小，心线区域 100 的粘性 η_n 和粘性比 R_n 变为大的值。

这样，粘性系数比 R_n 大时，如图 1 所示，即使在通过拔丝后用加热炉进行慢慢冷却的制造方法等的有瑞利散射损失降低效果的制造方法制作光纤维时，也不能得到充分的传输损失的降低效果。

这考虑到，主要因光纤维内的假想温度 T_f 的下降等降低瑞利散射损失，另外由于向上述心线区域 100 的应力集中，构造不规则损失等的其他传输损失成分增大，作为整体的传输损失不能充分降低或增大。关于瑞利散射损失的降低，因应力集中等的原因，也有不能充分得到其效果的可能性。

与此相反，作为光纤维或光纤维母材的构成，由于满足粘性比的条件 $R_n \leq 2.5$ ，确实能将得到的光纤维的瑞利散射损失从基准值降低 5% 以上，成为基准值的 95% 以下的值。同时，也能抑制构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失成分的发生和增大。根据以上理由，能确实降低作为整体的传输损

失。

对于粘性比 R_n 小的场合，从向心线的应力集中这一方面考虑，不必要有下限值，但心线内的 Ge 等的添加量太大时，由于因添加物引起的传输损失增大，作为光纤维是不合适的，所以最好 $R_n > 0.07$ 。

作为用于评价瑞利散射损失降低效果的指标，可用瑞利散射系数 A。光纤维的波长 λ 的传输损失 α_{λ} (dB/km) 如上述那样，根据瑞利散射损失和除此以外的构造不规则损失等的传输损失成分，一般由下式 $\alpha_{\lambda} = A / \lambda^4 + B + C(\lambda)$ 表示。其中，第 1 项 A / λ^4 (dB/km) 表示瑞利散射损失，其系数 A 是瑞利散射系数 (dB/km $\cdot \mu\text{m}^4$)。瑞利散射损失与瑞利散射系数 A 成比例，因而，如从基准值将瑞利散射系数 A 降低 5%，则瑞利散射损失也降低 5%。

这里，用通过慢慢冷却使瑞利散射损失降低等的制造方法以外的通常制造方法得到的光纤维中，将向以对于纯 SiO_2 的折射系数差 (%) 的值表示的心线区域 100 的 G 的添加量设为 [Ge] 时，瑞利散射系数 A (dB/km $\cdot \mu\text{m}^4$) 的值变成下式。

$$15 \quad A_0 = 0.85 + 0.29[\text{Ge}]$$

因而，能将该通常的值 A_0 设为瑞利散射系数 A 的基准值。这时，得到的光纤维的瑞利散射系数 A 可以从基准值 A_0 降低 5% 以上。

为了评价包含瑞利散射损失的整体传输损失，也可以将波长 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 作为指标。在波长 $1.00 \mu\text{m}$ 时，上述传输损失 α_{λ} 的表示式中， $B + C(\lambda)$ 大略是 0.01，因而，在用通常的制造方法得到的光纤维中，传输损失 $\alpha_{1.00}$ (dB/km) 的值变为下式 $\alpha_0 = A_0 + 0.01 = 0.86 + 0.29[\text{Ge}]$ 因而，能将该通常的值 α_0 作为传输损失 $\alpha_{1.00}$ 。这时，得到的光纤维传输损失 $\alpha_{1.00}$ 。最好从基准值 α_0 降低 5% 以上。

这样，通过将瑞利散射系数 A 或波长 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 作为指标而使用，能确实得到降低包含瑞利损失或构造不规则损失等的整体的传输损失的效果。如根据上述基准值的各表示式，在表示式中包含 Ge 的添加量 [Ge]。因而，能评价与向心线添加 Ge 量对应的传输损失。

关于瑞利散射系数 A，根据上式可以从传输损失的波长依存性的数值（例如 $1 / \lambda^4$ 曲线的斜率）求出。作为评解整体的传输损失的指标，用在波长 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失，这是因为在 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失的值比光传输用的 $1.55 \mu\text{m}$

带等大，用 1~10km 程度的比较短的光纤维标本能以足够精度进行评价。

但是，在本发明的光纤维中，波长 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 和波长 $1.55 \mu\text{m}$ 的传输损失有一定的关系并相对应，通过评价传输损失 $\alpha_{1.00}$ 的降低效果，对传输损失 $\alpha_{1.55}$ 也同样能确认其降低。作为具体的对应关系，波长 $1.00 \mu\text{m}$ 的传输损失如上述那样用 $\alpha_{1.00} = A + 0.1$ 表示，但相当于该表示式的波长 $1.55 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.55}$ 的表示式是 $\alpha_{1.55} = A \times 0.17325 + 0.25$ 。

在上述光纤维及其制造方法中，关于心线平均粘性 η_0 和整体平均粘性 η_1 的粘性比 R_n ，付与条件 $R_n \leq 2.5$ 。该粘性比与拔丝时光纤维的心线区域所加的张力或拔丝后残余应力中的张力成分有密切的关系。因而，根据这些应力或张力，也能评价粘性比 R_n 。

拔丝后的光纤维的残余应力由拔丝时张力引起的张力成分和除此以外的热膨胀所产生的热膨胀成分组成。这里，设光轴方向残余应力的张力成分为 σ_z ，则张力成分 σ_z 由下式

$$\sigma_z = f \times \eta_0 / \int_s \eta dS$$

15 定义。这里， f 表示拔丝时的张力。

另外，根据关于粘性的上述各表示式求出粘性比 R_n 。

$$\begin{aligned} R_n &= \eta_0 / (\int_s \eta dS / \int_s dS) \\ &= \eta_0 / (\int_s \eta dS / \pi r_1^2) \end{aligned}$$

20 r_1 如图 2 所示，是包层区域 101 的外周的半径。粘性比 R_n 根据该两式，用张力成分 σ_z ，以下式表示。

$$\begin{aligned} R_n &= \sigma_z / (f / \int_s dS) \\ &= \sigma_z / (f / \pi r_1^2) \end{aligned}$$

这儿，作为典型的条件设张力 $f = 0.1\text{N}(10\text{gw})$ ， $r_1 = 62.5 \mu\text{m}$ （光纤维直径为 $125 \mu\text{m}$ ）时，粘性比 $R_n = 2.5$ 大致相当于张力成分 $\sigma_z = 20\text{Mpa}$ 。因而，为了满足粘性经的条件 $R_n \leq 2.5$ ，最好设光轴方向的残余应力的张力成分 σ_z 为 20Mpa 以下 ($\sigma_z \leq 20\text{Mpa}$)。从也加了热膨胀成分的残余应力的整体来看时，由于热膨胀成分大致是 10 Mpa 程度，所以最好设残余应力在 30Mpa 以下。

30 关于光纤维内的残余应力分布的测定，例如有用 Photoelastic computer tomography 的方法等（参照文献「T. Abe et al., J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 3 No. 1, pp. 133-138 (1986)」。

关于本发明的第 1 光纤维及其制造方法引起的传输损失的降低效果，以具体的实施例和比较例表示。以下实施例和比较例的光纤维，都通过用图 1 所示的加热炉的慢慢冷却的制造方法不进行慢慢冷却的通常制造方法制作，确认其传输损失的降低效果。关于慢慢冷却用的加热炉的加热条件，设定在 1350℃ 通过时间 3 秒。

图 3 表示光纤维第 1 实施例的折射率曲线的图。本实施例的光纤维和图 2 相同，由包含中心轴的心线区域 100 和其外周的包层 101 构成。各区域的半径 r_0 、 r_1 分别设为 $2r_0 = 10 \mu\text{m}$ ， $2r_1 = 125 \mu\text{m}$ 。

设包层区域 101 为纯 SiO_2 ，同时在心线区域 100 添加 Ge，因相对纯 SiO_2 的折射系数差（%）使添加量变为 $[\text{Ge}]_0 = +0.35\%$ 。

图 4 是表示光纤维第 2 实施例的折射率曲线的图。本实施例的光纤维由包含中心轴的心线区域 200、和其外周的 2 个包层 202、203 构成，组合包层 202 和 203，形成整体的金属包层区域 201。各区域的半径 r_0 、 r_2 、 r_3 （ $=r_1$ ）分别设为 $2r_0 = 10 \mu\text{m}$ ， $2r_2 = 55 \mu\text{m}$ ， $2r_3$ （ $=2r_1$ ） $= 125 \mu\text{m}$ 。

在心线区域 200 添加 Cl，因相对于纯 SiO_2 的折射系数差（%）使添加量变为 $[\text{Cl}]_0 = +0.08\%$ 。另外，在 2 个包层 202、203 添加 F，因相对于纯 SiO_2 的折射系数差（%）使添加量分别变为 $[\text{F}]_2 = -0.28\%$ ， $[\text{F}]_3 = -0.20\%$ 。

作为光纤维的第 3 实施例是和第 2 实施例相同构成的光纤维，将慢慢冷却用的加热炉的加热条件设在 1000℃ 通过时间 3 秒，制作光纤维。

图 5 是表示光纤维比较例的折射率曲线的图。本比较例的光纤维由包含中心轴的心线区域 300 和其外周包层区域 301 构成。各区域的半径 r_0 、 r_1 分别设为 $2r_0 = 10 \mu\text{m}$ ， $2r_1 = 125 \mu\text{m}$ 。

在心线区域 300 添加 Cl，因相对于纯 SiO_2 的折射系数差（%），使添加量变为 $[\text{Cl}]_0 = +0.08\%$ 。另外，在包层区域 301 添加 F，因折射系数差（%），使添加量变为 $[\text{F}]_1 = -0.35\%$ 。

对于以上的第 1、第 2、第 3 实施例及比较例，表 1 表示求出粘性比 R_n 、传输损失 $\alpha_{1.55}$ （ dB/km ）、 $\alpha_{1.00}$ （ dB/km ）和瑞利散射系数 A （ $\text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$ ）的结果。

表 1

	粘性比 R_n	不冷却			冷却		
		$\alpha_{1.55}$	A	$\alpha_{1.00}$	$\alpha_{1.55}$	A	$\alpha_{1.00}$
实施例 1	0.63	0.190	0.95	0.96	0.180	0.89	0.90
实施例 2	1.90	0.170	0.85	0.86	0.161	0.80- 0.79	0.81- 0.80
实施例 3	1.90	0.170	0.85	0.86	0.164	0.81	0.82
比较例	3.20	0.170	0.85	0.86	0.170	0.80- 0.79	0.82- 0.81

(单位: $\alpha_{1.00}$, $\alpha_{1.55} = (\text{dB/km})$; A = $(\text{dB/km} \cdot \mu \text{m}^4)$)

在该结果中, 关于各光纤维的粘性比 R_n , 在实施例中分别是 0.63、1.90, 满足 $R_n \leq 2.5$ 的条件. 与此相反, 在比较例中粘性比 R_n 的值为 3.20, 是超过 5 2.5 值的粘性比.

关于第 1、第 2 实施例和比较例, 观看图 6 所示的残余应力曲线就明白, 在实施例中都是比较小的残余应力. 与此相反, 在粘性比 R_n 大于 3.20 的比较例中, 随着张力的增加, 产生非常大的残余应力.

对于有这样粘性比的光纤维, 分别比较有 / 无拔丝后的加热炉的慢慢冷却 10 时的传输损失 $\alpha_{1.55}$ 、瑞利散射系数 A、和传输损失 $\alpha_{1.00}$ 时, 在满足粘性比 $R_n \leq 2.5$ 的第 1、第 2 和第 3 实施例, 有慢慢冷却时瑞利散射系数 A 和传输损失 $\alpha_{1.55}$ 、 $\alpha_{1.00}$ 比没有慢慢冷却时的, 能得到充分的降低效果.

另外也明白, 在粘性比 $R_n > 2.5$ 的比较例中, 在有慢慢冷却时, 关于瑞利散射, 得到和实施例相同的降低效果, 但作为整体的传输损失 $\alpha_{1.55}$ 、 $\alpha_{1.00}$, 由 15 于粘性比引起的构造不规则损失增大等, 不能充分得到传输损失的降低效果.

使用具有用慢慢冷却的制造方法等的瑞利散射损失的降低效果的制造方法, 同时由于对光纤维或光纤维母材的粘性比付与 $R_n \leq 2.5$ 的条件, 能确实使瑞利散射损失降低 5% 以上并变成通常基准值的 95% 以下, 同时能防止构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失成分的发生和增大, 实现确实能降低作为整体的传输损失的光纤维和其制造方法. 20

下面, 说明本发明第 2 光纤维和光纤维的制造方法.

这里, 在以下, 表示各部的折射率值的折射系数差, 是将纯 SiO_2 的折射率

作为基准（折射系数差 = 0）并用%表示纯 SiO_2 的折射系数差而定义。关于各区域各层的平均折射系数差，在其区域内（层内）分别用面积加权折射系数差，并用平均值定义。

首先，说明光纤的制造方法。本发明的第 2 光纤的制造方法是大致与 5 上述第 1 制造方法相同。作为光纤制造所用的拔丝装置，使用图 1 所示构成的拔丝装置。

但是，关于由母材供给装置供给的光纤母材 2，关于由心线区域和在心线区域的外周设置的包层区域构成的光纤母材 2 的构成，按满足规定条件制作光纤母材 2。即，设心线区域为纯 SiO_2 心线或以纯 SiO_2 为基准添加能进行 10 处理的 Cl（氯）的 SiO_2 心线，同时，将包层区域作为添加 F（氟）的构成，使其平均折射系数差 Δn 满足下述条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ ，由此制作成光纤母材 2。

上述光纤的制造方法因用加热炉 21 的慢慢冷却引起的光纤内的假想 15 温度 T_f 的下降，是能降低光纤的光传输损失主要原因的瑞利散射损失的制造方法。在本实施形态中，关于适用该制造方法的光纤母材（或由光纤母材得到的光纤）的构成，如上述那样，设心线区域为纯 SiO_2 或添加 Cl 的 SiO_2 ，同时，添加 F 构成金属区域，使其平均折射系数差满足条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 。

对于满足这样条件构成的光纤或光纤母材，由于适用有图 1 所示的慢 20 冷却过程的制造方法等的能降低瑞利散射损失的制造方法，所以能确实降低作为整体的因瑞利散射损失等引起的传输损失。

即，这样即使在适用有瑞利散射损失降低效果的制造方法时，作为整体的 25 传输损失，也未必降低传输损失。这是因为，一方面能降低瑞利散射损失，另外因对心线过于应力集而使构造不规则等的其他传输损失成分增大，不能得到降低作为整体的传输损失效果。应抑制构造不规则损失等的发生，相反不能充分取得降低瑞利散射损失的效果。

对于通常在加热拔丝光纤母材 2 时施加在光纤的张力，在低张力时降低瑞利散射损失，但增加构造不规则损失；相反在高张力时，由对 SiO_2 结合的影响引起瑞利散射损失增大。

与此相反，通过适用上述构成的光纤母材和光纤，对向包层区域的 F 30 添加量，给与使应力恰好地分散在包层区域的上限值、能抑制对有纯 SiO_2 心线

的光纤的心线的应力集中，降低所得到的光纤传输损失的张力依存性。因此，能同时降低瑞利散射损失、和构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失成分。因而，由于形成这种构成的光纤，实现能确实降低作为整体的传输损失的光纤。

5 具体地说，对于瑞利散射系数A，能设定从通常纯 SiO_2 心线（或以纯 SiO_2 心线为基准的添加C1的 SiO_2 心线）的光纤的基准值 $0.85\text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$ 降低约5%以上的 $0.81\text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$ 以下的数值范围。对于波长 $1.00\mu\text{m}$ 的传输损失，也能设定从同样的基准值 0.86dB/km 降低约5%以上的 0.82dB/km 以下的数值范围。

10 在上述光纤的制造方法中，对于用拔丝炉11拔丝时的张力，由于抑制因过度张力变化引起的传输损失的增大等，最好进行张力控制，使其在允许的合适张力范围。作为该合适的张力范围，最好张力是 $0.05 \sim 0.20\text{N}(5 \sim 20\text{gw})$ 的范围内。

15 下面说明光纤的构成。图7是对于本发明的第2光纤的第1实施形态表示其折射率的曲线图。

该光纤纤维是 SiO_2 玻璃（石英玻璃）系光纤，有包含光纤的中心轴的心线区域600和在心线区域600的外周设置的包层区域700。

20 心线区域600将其外周的半径设为 r_0 而形成。该心线区域600，在纯 SiO_2 玻璃添加规定的作为提高折射率的添加物C1（氟）。因此，心线区域600内的平均折射系数是 Δn_0 （但， $\Delta n_0 > 0$ ）。

另外，包层区域700，在本实施形态中有在心线区域600的外周设置的内包层701和在内包层701的外周设置的外包层702的2层包层结构。

25 内包层701将其外周的半径设为 r_1 而形成。在该内包层701在纯 SiO_2 玻璃添加规定量的作为降低折射率的添加物F（氟）。因此，内包层701内的平均折射系数差是 Δn_1 （但， $\Delta n_1 < 0$ ）。

外包层702将其外周半径设为 r_2 而形成。该外包层702，在纯 SiO_2 玻璃添加规定量的F（氟）。因此，外包层702内的折射系数差是 Δn_2 （但， $\Delta n_2 < 0$ ）。外包层702的F平均添加量小于内包层701的F平均添加量，因而，包层区域701和701的平均折射系数差有 $0 > \Delta n_2 > \Delta n_1$ 的关系。

30 作为组合平均折射系数差 Δn_1 的内包层701和平均折射系数差 Δn_2 的外包

层 702 的整体包层 700, 其平均折射系数差 Δn_c 是满足上述条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的值 (但, $0 > \Delta n_2 > \Delta n_c > \Delta n_1$).

本光纤维的心线区域 600 由添加 Cl 的 SiO_2 心线构成. 在该心线区域 600, 因添加 Cl 使粘性稍微减少, 由于其添加量等, 使心线区域 600 有比包层区域 5 700 大的粘性. 与此相反, 将在包层区域 700 中添加 F 量设为是 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的添加量上限值以下的添加量 (与条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 对应), 使加在光纤维内的应力恰好地向包层 700 分散, 抑制, 各心线的应力集中.

通过抑制向该心线的应力集中, 能降低对于光纤维拔丝时所加的张力的传输损失的张力依存性, 实现充分降低作为整体的传输损失的光纤维.

10 在本实施例的光纤维中, 有 F 添加量大 (折射系数差小) 的内包层层 701 和 F 添加量小的 (折射系数差大) 的外包层层 702 的 2 层包层层, 构成包层区域 700.

15 根据这种 2 层构造的包层区域层, 由于位于心线区域 600 外周的内包层层 701, 能高效地关闭通向心线区域 600 和其附近的传输光. 外包层层 702 具有调整光纤维传输特性的效果和降低向心线的应力集中的效果等. 由于对将这些包层层 701 和 702 组合的包层区域 700 整体的平均折射系数差适用上述条件, 所以能确实抑制向心线区域 600 的应力集中.

这里, 关于金属包层层 701、702 的平均折射系数差 Δn_1 、 Δn_2 , 根据其大小关系, 外金属包层层 702 的平均折射系数差 Δn_2 满足条件 $\Delta n_2 \geq -0.26\%$.

20 关于向心线区域 600 添加 Cl, 为了充分确保关闭通向心线区域 600 的光的效果等, 最好设其平均折射系数差为 $0.01\% \leq \Delta n_0 \leq 0.12\%$ 的范围. 关于添加 Cl, 由于对传输损失等影响小, 所以能进行与纯 SiO_2 同样的处理, 具有使心线区域 600 粘性变小的效果. 关于心线区域 600 内的折射率分布, 在心线区域 600 内可以是大致一定的折射率分布, 或者可以是缓变型的.

25 图 8 是表示本发明第 2 光纤维的第 2 实施形态的折射率曲线的图.

该光纤维和第 1 实施形态相同, 是 SiO_2 玻璃 (石英玻璃) 系的光纤维, 有包含光纤维中心轴的心线区域 600 和在心线区域 600 的外周设置的包层区域 700.

30 这些的心线区域 600 和包层区域 700 的构成是与图 7 所示的光纤维几乎相同, 但包层区域 700 的外包层 702 的构成不同. 即, 在本实施形态中, 在外包

层层 702 不添加 F(氟)，是由纯 SiO_2 玻璃组成的外包层层 702。因而，包层区域 701 和 702 的平均折射系数差有 $0 = \Delta n_2 > \Delta n_1$ 的关系。

作为组合平均折射系数差 Δn_1 的内包层层 701 和平均折射系数差 $\Delta n_2 = 0$ 的外包层层 702 的包层区域 700 的整体，其平均折射系数差 Δn_c 变为满足上述条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的值（但， $0 = \Delta n_2 > \Delta n_c > \Delta n_1$ ）。

在本实施形态的光纤维中也和第 1 实施形态相同，使在光纤维内施加的应力合适地向金属包层区域 700 分散，从而抑制向心线的应力集中。因此，降低对施加在光纤维拔丝时的张力的传输损失的张力依赖性，实现充分降低作为整体的传输损失的光纤维。

这里，如本实施形态那样在将外包层层 702 作为纯 SiO_2 时，由于防止光纤维弯曲时的光泄漏等的理由，外包层层 702 的内周半径（= 内包层层 701 的外周半径） r_1 和外包层 702 的外周半径 r_2 最好满足条件 $r_2 - r_1 \leq r_2 \times 0.3$ 。该条件相当于将外包层层 702 的厚度设成光纤维整体的 30% 以下。由此，能得到对心线的应力集中的充分抑制效果，同时将对该外包层的传输特性的影响设在合适的范围内。

图 9 是表示本发明的第 2 光纤维的第 3 实施形态的折射曲线的图。

该光纤维和第 1、第 2 实施形态相同，是 SiO_2 玻璃（石英玻璃）系的光纤维，有包含光纤维中心轴的心线区域 600 和在心线区域 600 的外周设置的包层区域 700。其中，对于心线区域 600 的构成，与图 7 和图 8 所示的光纤维中的心线区域 600 是几乎相同。

包层区域 700，在本实施形态中有单一的包层层 701。包层层 701 是将其外周的半径设为 r_1 而形成的。该包层 701 在纯 SiO_2 玻璃添加规定量的作为降低折射率的添加物 F(氟)。由此，包层层 701 内的平均折射系数差是 Δn_1 （但， $\Delta n > 0$ ）。

该包层层 701 的平均折射系数差 Δn_1 相当于包层区域 700 整体的平均折射系数差，该平均折射系数差 $\Delta n_c = \Delta n_1$ 是满足上述条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的值。

这样，不限于有第 1、第 2 实施形态所示的 2 层构造的包层区域的构成，在有本实施形态那样的 1 层构造的包层区域的构造等，同样也使加在光纤维内的应力恰好地向包层区域 700 分散，抑制对心线的应力集中。由此，降低对光纤维拔丝时施加的张力的传输损失的张力依赖性，能实现充分降低作为整体的

传输损失的光纤

关于由本发明第 2 光纤及其制造方法引起的传输损失的降低效果，由具体的实施例和比较例表示。在以下实施例和比较例的光纤，除第 2 比较例外都由用图 1 所示的加热炉的慢冷的制造方法制作。这里，关于慢冷用的加热炉的加热条件，将加热炉中心温度设定为 1350℃，线速度为 50m/分，1.5m 通过时间为 1.8 秒。拔丝时的张力都为 0.10N(10gw)。

成为第 1 实施例的光纤，根据图 7 所示的折射率曲线制作。各半径 r_0 、 r_1 、 r_2 分别设为 $2r_0 = 10 \mu m$ ， $2r_1 = 55 \mu m$ ， $2r_2 = 125 \mu m$ 。

对于各区域的折射率，在心线区域 600 添加 C1，使平均折射系数差为 $\Delta n_0 = +0.08\%$ 。另外在包层区域 700 内的包层层 701 添加 F，使平均折射系数差为 $\Delta n_1 = -0.28\%$ 。在外包层层 702 添加 F，使平均折射系数为 $\Delta n_2 = -0.20\%$ 。这时，作为包层区域 700 整体的平均折射系数差是 $\Delta n_c = -0.215\%$ 。

成为第 2 实施例的光纤，根据图 8 所示的折射率曲线制作。各半径 r_0 、 r_1 、 r_2 分别设为 $2r_0 = 10 \mu m$ ， $2r_1 = 100 \mu m$ ， $2r_2 = 125 \mu m$ 。这时，外包层层 702 的厚度是 $r_2 - r_1 = r_2 \times 0.2 < r_2 \times 0.3$

关于各区域的折射率，在心线区域 600 添加 C1，使平均折射系数差为 $\Delta n_0 = +0.08\%$ 。在包层区域 700 的内包层 701 添加 F，使平均折射系数差为 $\Delta n_1 = -0.28\%$ 。在外包层层 702 不添加 F，形成纯 SiO_2 ，其平均折射系数差为 $\Delta n_2 = 0.00$ 。这时，作为包层区域 700 整体的平均折射系数差为 $\Delta n_c = -0.178\%$ 。

成为第 3 实施例的光纤，根据图 9 指示的折射率曲线制作。各半径 r_0 、 r_1 分别设为 $2r_0 = 10 \mu m$ ， $2r_1 = 125 \mu m$ 。

关于各区域的折射率，在心线区域 600 添加 C1，使平均折射系数差是 $\Delta n_0 = +0.08\%$ 。在包层区域 700 的包层层 701 添加 F，使平均折射系数差为 $\Delta n_c = \Delta n_1 = -0.26\%$ 。

作为光纤的第 4 实施例是和第 1 实施例相同构成的光纤，将用慢冷用加热炉的加热条件设定在以 1100℃ 通过 1.8 秒时间，由此进行制作。

对以上的第 1~第 4 实施例，制作不满足上述构成的光纤，作为第 1、第 2 的比较例。

成为第 1 比较例的光纤，根据图 9 所示的折射率曲线，以和第 3 实施例大致相同的构成进行制作。但是，对于包层区域 700 的金属包层层 701，添加

F 使平均折射系数差为 $\Delta n_c = \Delta n_i = -0.35\% (< 0.26\%)$.

成为第 2 比较例的光纤维, 以和上述第 1 比较例相同的构成进行制作. 但在该拔丝工序, 不进行用加热炉的慢冷地拔线光纤维.

关于以上的第 1 ~ 第 4 实施例和第 1、第 2 比较例, 图 2 表示求出包层区域 700 的平均折射系数差 Δn_c .

瑞利散射系数 A、构造不规则损失 B (参照上述传输损失 α_i 的公式)、波长 $1.00 \mu m$ 的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 和波长 $1.55 \mu m$ 的传输损失的结果. 这里, 传输损失 $\alpha_{1.00}$ 和 $\alpha_{1.55}$ 分别是 $\alpha_{1.00} = A + B$, $\alpha_{1.55} = 0.17325 \times A + B + 0.016$.

表 2

	Δn_c	A	B	$\alpha_{1.00}$	$\alpha_{1.55}$
实施例 1	-0.215	0.790	0.008	0.798	0.159
实施例 2	-0.178	0.800	0.008	0.808	0.161
实施例 3	-0.260	0.780	0.011	0.791	0.162
实施例 4	-0.215	0.810	0.010	0.820	0.164
比较例 1	-0.350	0.800	0.015	0.815	0.169
比较例 2	-0.250	0.850	0.008	0.858	0.170

10 (单位: $\alpha_{1.00}$, $\alpha_{1.55}$, $B = (dB/km)$; $A = (dB/km \cdot \mu m^4)$)

首先, 关于光纤维的平均折射系数差 Δn_c , 与第 1 ~ 第 4 实施例满足条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的相反, 在第 1、第 2 比较例中由于添加超过上限值的 F, 所以 $\Delta n_c < 0.26\%$.

接着, 观察瑞利散射系数 A、构造不规则损失 B 和传输损失 $\alpha_{1.00}$, $\alpha_{1.55}$, 15 在用通常构造不进行慢冷地制作的第 2 比较例, 瑞利散射系数 A 的值是上述基准的 $0.850 \text{ dB/km} \cdot \mu m^4$. 构造不规则损失 B 的值是 0.08 dB/km , 作为整体的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 大致是上述基准值的 0.858 dB/km . 传输损失 $\alpha_{1.55}$ 是 0.170 dB/km .

在用通常构造进行慢冷制作的第 1 比较例, 瑞利散射系数 A 的值降低到 20 $0.800 \text{ dB/km} \cdot \mu m^4$, 构造不对称损失 B 通过慢冷相反增大为 0.015 dB/km , 作为整体的传输损失 $\alpha_{1.55}$ 不能充分降低, 是 0.169 dB/km .

与此相反, 在第 1 ~ 第 4 实施例, 瑞利散射系数 A 和构造不规则损失 B 都降低, 能实施作为整体的传输损失 $\alpha_{1.00}$, $\alpha_{1.55}$ 的充分降低.

即, 在有 2 层构造的包层区域的第 1 实施例, 瑞利散射系数 A 降低到 $0.790 \text{ dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$, 同时, 对于构造不规则损失也能防止其增大, 是 0.08 dB/km . 作为整体的传输损失 $\alpha_{1.00}$ 、 $\alpha_{1.55}$, 能实现足够的降低, 分别为 0.789 dB/km , 0.159 dB/km .

对于在 2 层构造的外包层层是纯 SiO_2 的第 2 实施例和 1 层构造的第 3 实施例, 也和第 1 实施例相同, 能充分降低作为整体的传输损失. 关于改变加热条件的第 4 实施例, 也和第 1 实施例相, 充分降低作为整体的传输损失.

根据以上所述, 对于在使用用慢冷的制造方法等的具有瑞利散射损失的降低效果的制造方法的同时光纤维或光纤维母材的心线区域和包层区域的构成, 通过设心线区域为纯 SiO_2 心线或添加以其为基准的 C 的 SiO_2 心线, , 设包层区域为添加 F 的构造并满足条件 $\Delta n_c \geq -0.26\%$, 所以在确实降低瑞利散射损失的同时, 也能防止构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失成分的发生和增大, 实现能确实降低作为整体的传输损失的光纤维及其制造方法.

在有 2 层构造的第 1 实施例, 外包层 702 的平均折射系数差是 $\Delta n_2 = -0.20\%$. 关于该平均折射系数差, 也可能设为最大值. 但是, 在该实施例中, 外包层层 702 的内周半径比 $2r_2 = 55 \mu\text{m}$ 小, 所以 $\Delta n_2 = -0.1\%$ 被认为限度, 在比其大时, 如第 2 实施例那样, 最好使包层层的厚度比较小.

关于第 1 实施例, 调研波长 $1.55 \mu\text{m}$ 的传输损失 $\alpha_{1.55}$ 的张力依赖性, 张力 0.04N 时传输损失 $\alpha_{1.55}$ 为 0.175 dB/km ; 0.05N 时为 0.170 dB/km ; 0.08N 时为 1.63 dB/km ; 0.10N 时为 1.59 dB/km ; 0.16N 时为 1.54 dB/km ; 0.20N 时为 0.170 dB/km ; 0.25N 时为 0.175 dB/km . 根据该结果, 拔丝时张力的最佳张力值范围应考虑在 $0.05 \sim 0.20$ 的范围.

本发明的光纤维及其制造方法不限于上述实施形态和实施例, 可有各种各样的变形或结构的变更. 例如, 关于上纤维的制造方法, 就不限于图 1 所示构成的拔丝装置的制造方法, 如备有慢冷用的加热炉, 也可以用由其他构成组成的拔丝装置. 也可以用以慢冷以外的方法来降低瑞利损失的制造方法.

同样, 光纤维或光纤维母材也能有各种各样的变形. 首先, 关于第 1 光纤维, 在图 3 和图 4 所示的实施例以外, 如满足粘性比的条件 $R_n \leq 2.5$, 也可以用各种构造的光纤维. 例如, 分散补偿纤维和分散位移纤维, 通常其粘性比 R 都小于 2.5 以下, 因此, 与上述实施例相同, 能得到传输损失的降低效果.

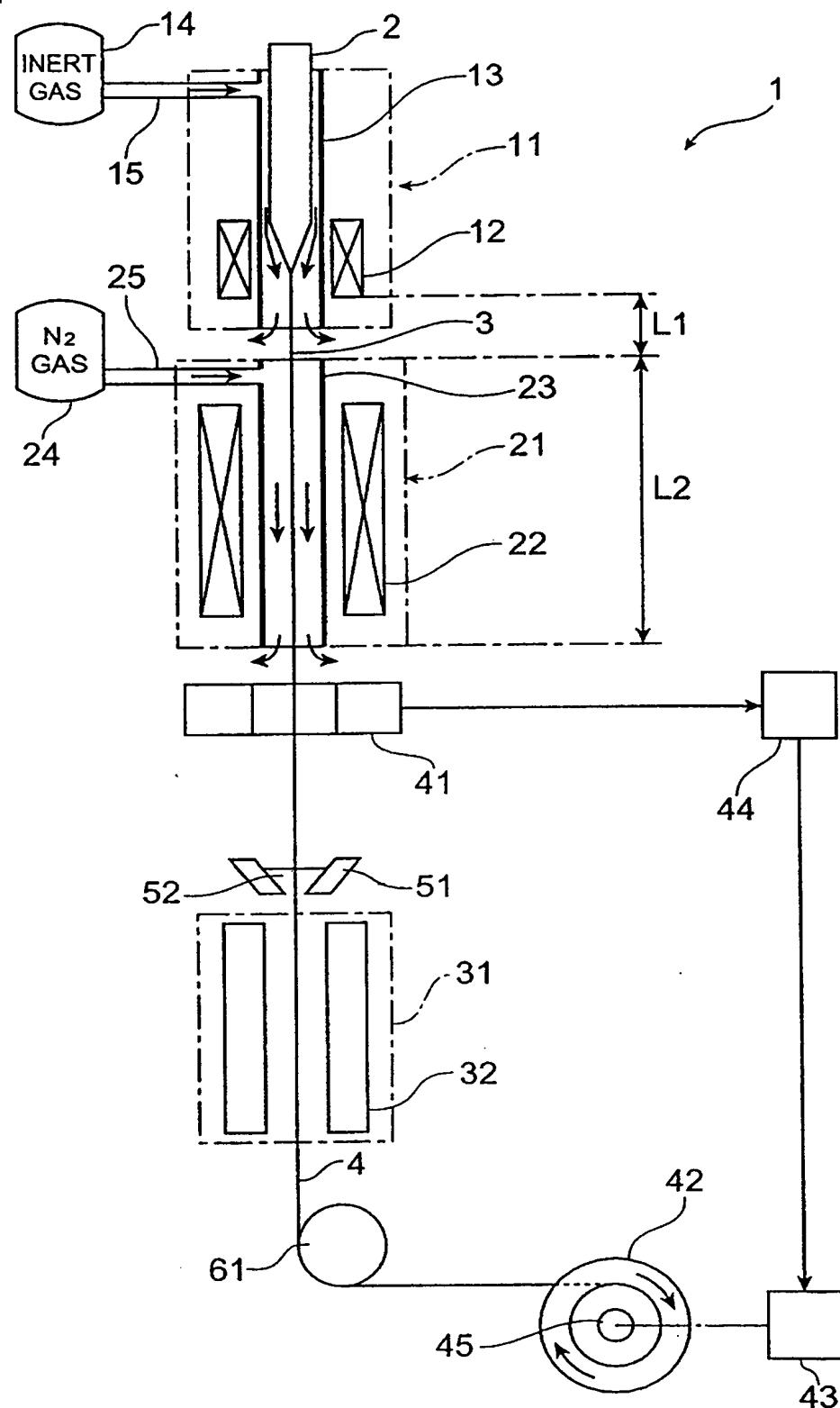
关于第2光纤，例如关于包层区域的构成，在图7~图9所示的实施形态以外，如满足上述构成的条件，可用各种各样构造的光纤。关于心线区域，在图7~图9形成添加Cl的构成，但也可以形成由纯SiO₂组成的心线。

本发明的光纤及其制造方法，如以上详细说明那样，得到以下效果。即在使用能降低瑞利散损失的光纤的构成或制造方法的同时，根据将心线平均粘性 η_c 和整体平均粘性 η_t 的粘性比 $R_t = \eta_c / \eta_t$ 设为2.5以下的光纤及其制方法，能确实降低瑞利损失5%以下，是基准值的95%以下，同时抑制构造不规则损失等的其他传输损失成分的发生和增大。因而，得到作为整体的传输损失充分降低的光纤。

在用能降低瑞利散射损失的光纤构成或制造方法的同时，根据设心线区域为纯SiO₂或添加Cl的SiO₂并以满足 $\Delta n_c \geq -0.26\%$ 的范围的添加量添加F(氟)构成包层区域的光纤及其制造方法，能确实降低瑞利散射损失，同时能防止构造不规则损失等的瑞利散射损失以外的传输损失成分的发生和增大，实现能确定降低作为整体的传输损失的光纤及其制造方法。

用以上构成及制造方法得到的光纤，其传输损失非常低，因而，适用于长距离光传输系统，同时能减少设置光放大器等的中断器数量，可构筑高效光传输系统。

图1



01-09-03

图2

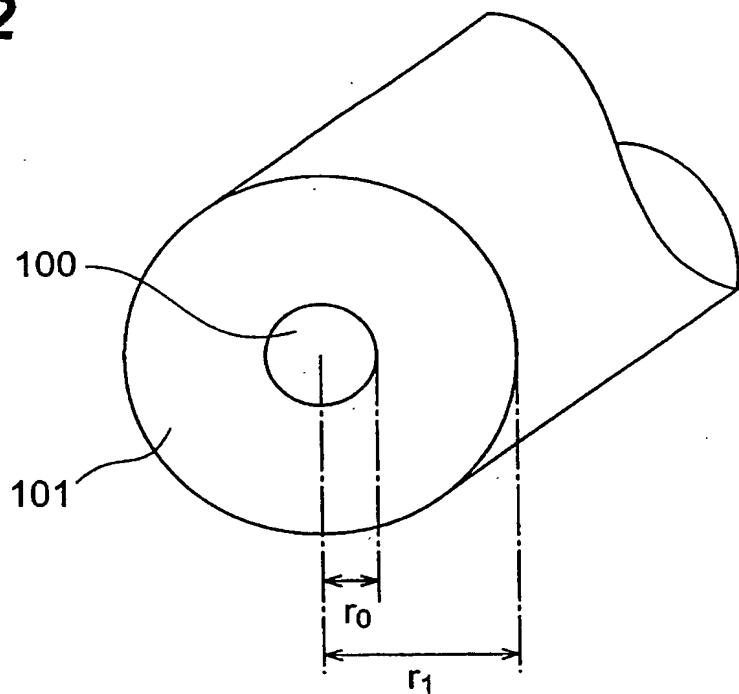


图3

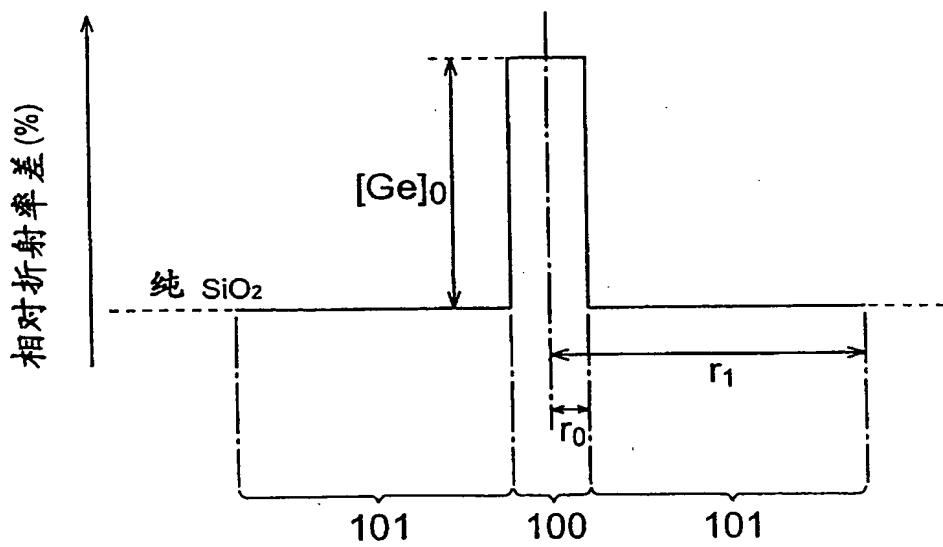


图 4

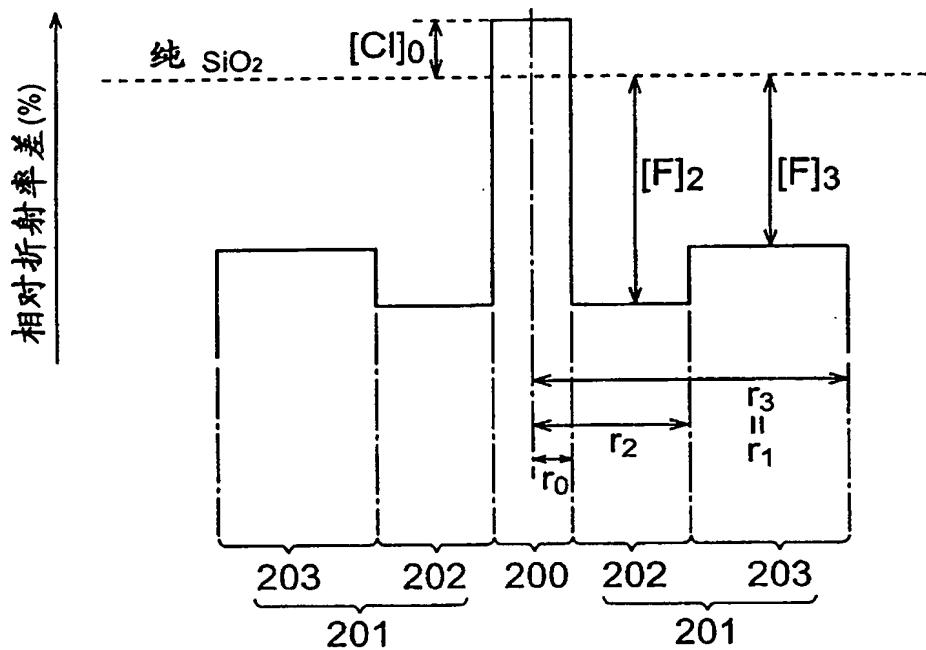
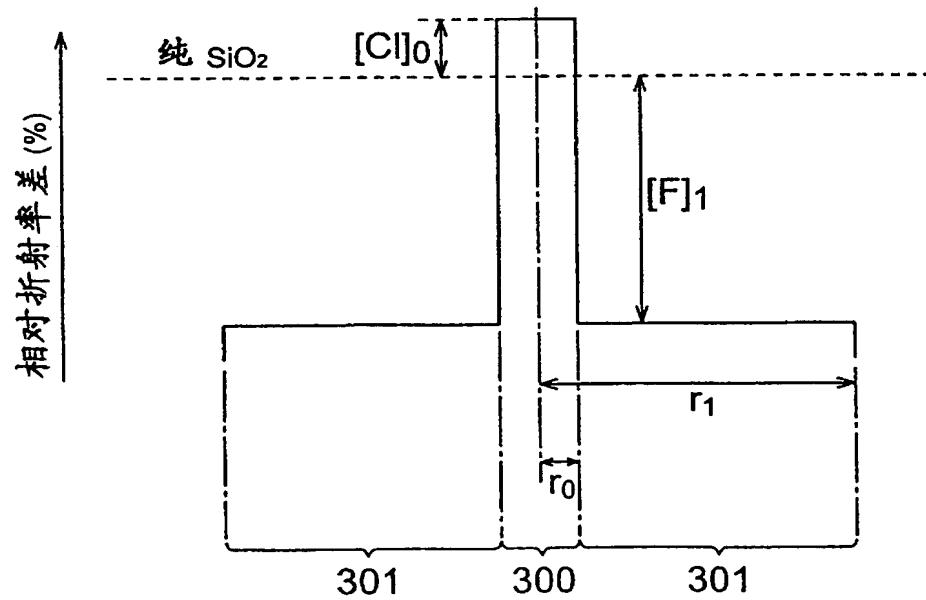


图 5



01-09-03

图 6

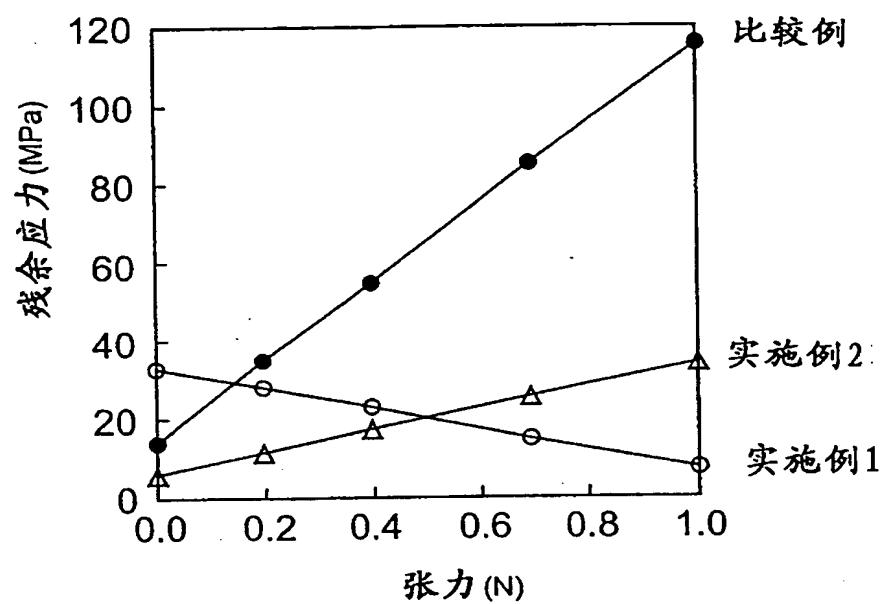


图7

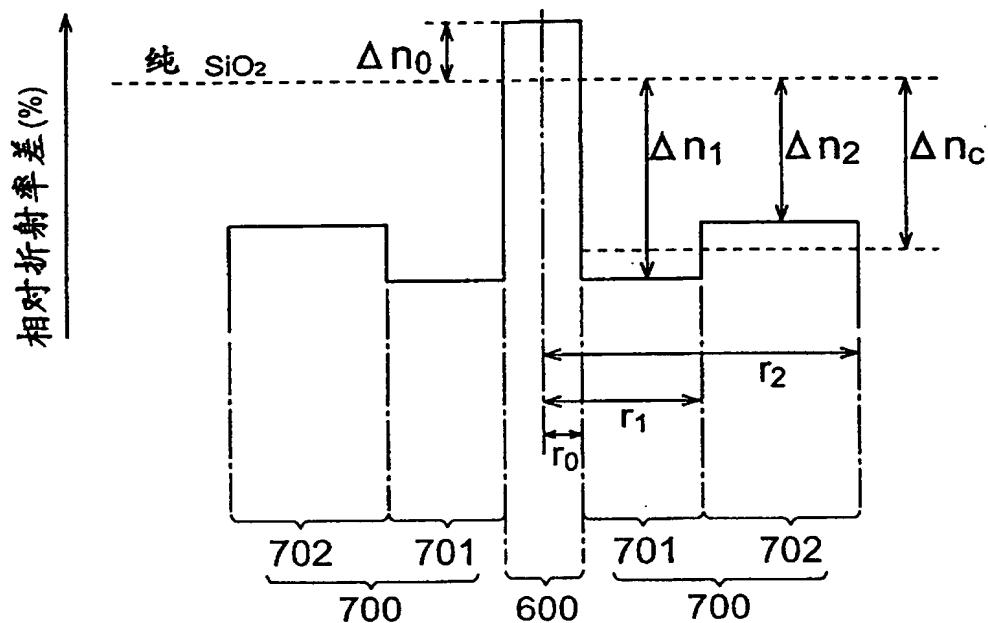
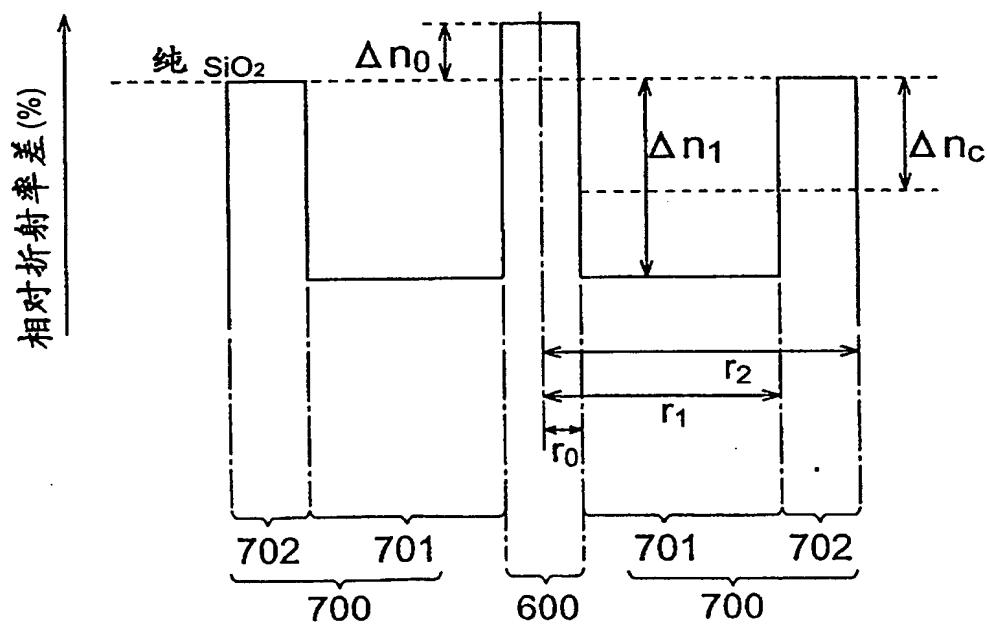
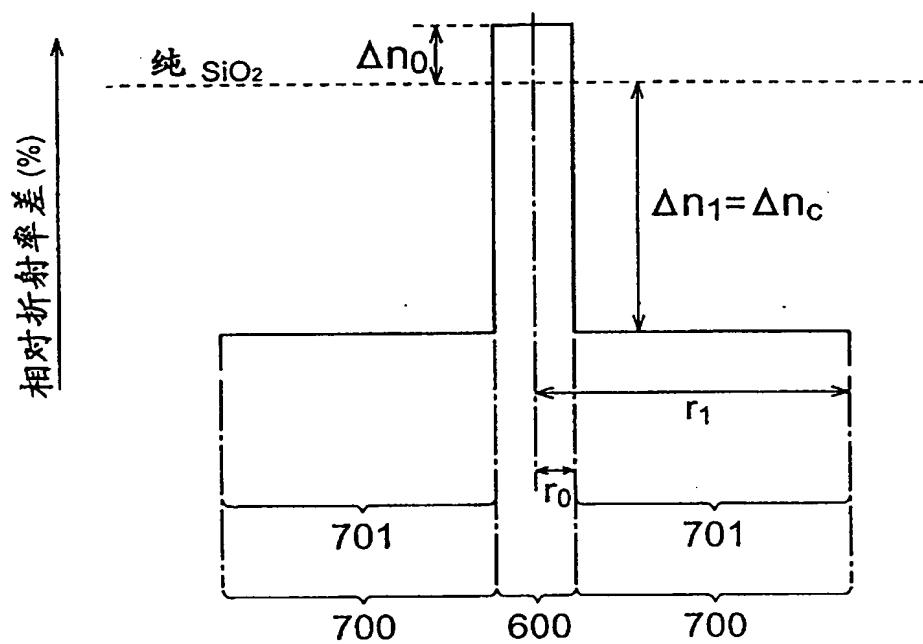


图8



01-09-03

图 9



THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)